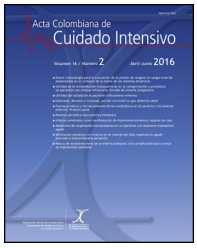
Acta Colombiana de Cuidado Intensivo 22 (2022) 227–236

Acta Colombiana de
Cuidado Intensivo

www.elsevier.es/acci



REVISIÓN

Índices de oxigenación: más allá de la PaO2/FiO2 como herramienta ideal

Sergio Leonardo Cardozo y Oscar Sanabria

Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Medicina, Unidad de Cuidados Intensivos, Hospital Universitario San Ignacio, Bogotá, Colombia

Recibido el 17 de junio de 2021; aceptado el 8 de abril de 2022
Disponible en Internet el 1 de junio de 2022

PALABRAS CLAVE
Síndrome de distrés respiratorio agudo;
Índice de oxigenación;
Hipoxemia;
Transferencia de oxígeno

Resumen En las enfermedades pulmonares, siendo el síndrome de distrés respiratorio agudo una de las más estudiadas por su relevancia clínica, la evaluación de los estados de oxigenación en los últimos 50 años ha permitido implementar múltiples herramientas que ayudan tanto en el diagnóstico como en el seguimiento, cada una de ellas con características operativas propias, con diferentes fundamentos fisiopatológicos, fortalezas y limitaciones que han llevado a utilizar algunas de ellas con mayor frecuencia dada su sencillez, disponibilidad, reproducibilidad y precisión; sin embargo, aún no se cuenta con un índice ideal que permita realizar un diagnóstico precoz, con alta sensibilidad a los cambios y que facilite al clínico tomar conductas terapéuticas y permita adicionalmente predecir desenlaces. Para la elaboración de esta revisión no sistemática de la literatura se realizó una búsqueda de artículos indexados en PubMed en los últimos 50 años para hacer un recorrido cronológico con el objetivo de analizar cada uno de los índices en búsqueda de la herramienta que se acerque al ideal.
© 2022 Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidado lntensivo. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS
Acute respiratory distress syndrome;
Oxygenation index;
Hypoxaemia;
Oxygen transference

Oxygenation indices: Beyond PaO2/FiO2 as an ideal tool

Abstract In lung disease, acute respiratory distress syndrome being one of the most studied due to its clinical relevance, the evaluation of oxygenation states in the last 50 years has allowed the implementation of multiple tools that help both in diagnosis and follow-up, each of them with its own operative characteristics, with different pathophysiological foundations, strengths and limitations that have led to the more frequent use of some of them given their simplicity, availability, reproducibility and precision, however there is still no ideal index that allows an early diagnosis, with high sensitivity to changes, and that helps the clinician take therapeutic actions and allows the prediction of outcomes. For the preparation of this

Correo electrónico: sl-cardozo@javeriana.edu.co (S.L. Cardozo).

https://doi.org/10.1016/j.acci.2022.04.001
0122-7262/© 2022 Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidado lntensivo. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

SHOUT
SHARE
IT

non-systematic review, a search was conducted for articles indexed in PubMed in the last 50 years to make a chronological overview to analyse each of the indexes.
© 2022 Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidado lntensivo. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

El proceso de transferencia de oxigenación a nivel pulmonar depende de múltiples variables intra y extrapulmonares, que son cambiantes tanto en el pulmón sano como en el pulmón enfermo. Estas variables permiten que los procesos de transferencia varíen en el tiempo y para ello se han creado algunos índices útiles para la determinación de la eficacia del proceso. Dentro de estos elementos se encuentran índices basados en saturación de oxígeno, otros en contenidos de oxígeno y otros en presiones parciales, que ayudan a determinar no solo del fenómeno estático en sí, sino adicionalmente permiten realizar un seguimiento en la evolución de la enfermedad pulmonar y en las intervenciones que se realizan para mejorar la oxigenación. Múltiples estudios han permitido establecer su utilidad, pero además sus limitaciones. Conociendo ello se puede permitir considerar diversos escenarios en la elección del método más adecuado de acuerdo con el tipo de paciente y el tipo y el momento de la enfermedad, y con ello tratar de determinar cuál es el de mayor utilidad y fácil aplicación para el clínico y que permita no solo establecer un método diagnóstico y de seguimiento, sino que adicionalmente permita tomar decisiones clínicas de impacto para los desenlaces de la enfermedad pulmonar. A continuación, se presenta una revisión de tema con relación a los diversos índices de oxigenación de uso en la actualidad basada en la literatura y que permite conocer su fundamento, utilidad y limitaciones.

La oxigenación

La oxigenación es un proceso de difusión pasiva del oxígeno desde el alvéolo hacia el capilar pulmonar y este depende de diversos factores como son la presión inspirada de oxígeno (PiO2) que a su vez está relacionada con la presión barométrica (PB), la fracción inspirada de oxígeno (FiO2), la integridad de la membrana alvéolo arterial, el nivel de hemoglobina (Hb), el estado cardiovascular y el adecuado estado de las vías respiratorias y de los vasos pulmonares (fig. 1). La alteración de cualquiera de estos elementos puede afectar la transferencia de oxígeno hacia la Hb en el eritrocito[1].

El índice ideal para la evaluación de la transferencia de oxígeno debe ser sencillo, preciso, confiable, rentable y fácilmente reproducible, además de estar disponible al pie de la cama como una herramienta de rápido diagnóstico, que permita medir lo que se quiere medir y que responda rápidamente a cualquier cambo en el valor real del parámetro fisiológico medido, reflejando estos cambios con una sensibilidad aceptable, y que además facilite tomar decisiones terapéuticas clínicamente útiles y predecir desenlaces (fig. 2).

Además, debe contar con unas características operativas que sean independientes de las variaciones de FiO2, shunt y PB, para poder ser validadas en cualquier escenario[2].

Desde esta perspectiva se han desarrollado en los últimos años diversas herramientas de 3 tipos: basadas en saturación de oxígeno (SaO2), basada en contenidos y los basados en presiones parciales[3], constituyendo parte fundamental en el diagnóstico, el seguimiento y el pronóstico de las enfermedades pulmonares. (fig. 3).

Índices basados en saturación de oxígeno

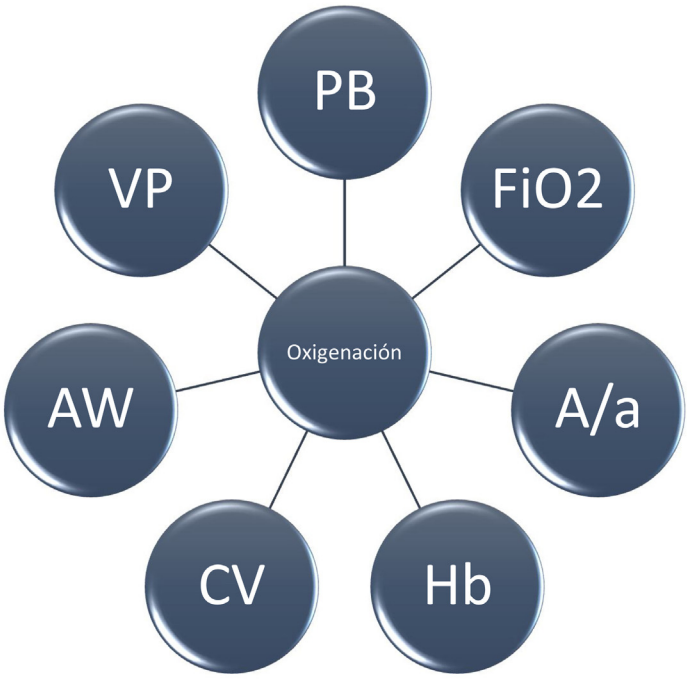
Relación SaO2 /FiO2 (SaO2/FiO2)

Inicialmente concebida como una herramienta sustituta de la presión arterial de oxígeno (PaO2)/FiO2 para el diagnóstico y el seguimiento del síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), en los escenarios donde no se cuenta con gasometría arterial, basado en el análisis de la relación entre la SaO2 por pulsioximetría y la FiO2 administrada.

Para su validación se han realizado estudios comparándolo con PaO2/FiO2 en diversos escenarios planteados sin una potencial disponibilidad de gasometría arterial, evidenciando que estas 2 herramientas no tienen una relación lineal sino sigmoidea, especialmente a valores bajos de PaO2[4]. En 2007 Rice et al. realizaron un estudio para derivar y validar la correlación entre la SaO2/FiO2 y la PaO2/FiO2 en 2 grupos de pacientes derivados del grupo ARDS net, con el objetivo de determinar valores umbrales para la SaO2/FiO2 que se correlacionaran con los valores de PaO2/FiO2 de 200 y 300 indicativos de SDRA y lesión pulmonar aguda, respectivamente, tras las mediciones en el conjunto de datos se describió una correlación mediante la aplicación de una ecuación SaO2FiO2 = 64 + 0,84 $\times$ (PaO2/FiO2) determinando que una SaO2/FiO2 de 235 se corresponde con un valor de PaO2/FiO2 de 200 y una SaO2/FiO2 de 315 con un valor de PaO2/FiO2 de 300; estos datos obtenidos son similares a la base de datos de la validación, arrojando una sensibilidad del 85% y una especificidad del 85%, arrojando unos valores útiles en el diagnóstico y seguimiento del SDRA[5].

Posteriormente, en 2009, Pandharipande et al. evaluaron 2 cohortes de pacientes, un grupo de pacientes bajo anestesia general y otro grupo derivado del estudios ARDS net, y a través de una regresión lineal determinaron las SaO2/FiO2 correspondientes para valores de PaO2/FiO2 de

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.



La alteración de cualquiera de estos elementos puede afectar la transferencia de oxígeno hacia la Hb en el eritrocito. PB: Presión Barométrica, FiO2: Fracción inspirada de oxígeno, A/a: Integridad de la membrana alveolo arterial, Hb: Nivel de hemoglobina, CV: Integridad del estado cardiovascular, AW: Integridad de la vía aérea, VP: Vasos pulmonares.

Figura 1 Determinantes de la dinámica de oxigenación. La alteración de cualquiera de estos elementos puede afectar la transferencia de oxígeno hacia la Hb en el eritrocito.
A/a: integridad de la membrana alvéolo arterial; AW: integridad de la vía aérea; CV: integridad del estado cardiovascular; FiO2: fracción inspirada de oxígeno; Hb: nivel de hemoglobina; PB: presión barométrica; VP: vasos pulmonares.

100, 200, 300 y 400, evaluando su correlación, además de la contribución de la PEEP a la SaO2/FiO2 y un cálculo de SOFA basados no en PaO2/FiO2, sino en SaO2/FiO2, evidenciando una alta correlación con los valores de PaO2/FiO2 en diferentes valores de PEEP, y con los valores de SOFA[6].

También se han realizado estudios tratando de evaluar su valor como marcador de identificación del SDRA postoperatorio de cirugía de revascularización (Bashar et al.) y destaca su valor como una herramienta más dinámica y de mayor rapidez, adicionalmente evita las flebotomías, ofrece menos dolor al paciente y reduce costos, con una adecuada correlación con la PaO2/FiO2[7]. Más recientemente, en enero del 2021, se publica un estudio de Fukuda et al. donde se examina la relevancia de la SaO2/FiO2 para mortalidad en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda hipoxémica y opacidades bilaterales en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), documentando con un modelo de regresión logística multivariada que la SaO2/FiO2 baja se asoció independientemente de una forma significativa con el riesgo de muerte en la UCI, igualmente, en conjunto con la edad y el valor de APACHE II, también se asocian de forma significativa con el riesgo de mortalidad hospitalaria (p = 0,018, 0,029 y 0,021, respectivamente). Adicionalmente con el análisis de las curvas ROC, el área bajo la curva para la mortalidad en UCI fue estimada en 0,793 para la SaO2/FiO2 y 0,694 para el APACHE II, y para mortalidad hospitalaria 0,726 para SaO2/FiO2 y 0,624 para APACHE II, constituyendo una herramienta muy útil de capacidad predictiva de mortalidad en pacientes con falla respiratoria hipoxémica en la UCI con opacidades bilaterales con la ventaja de no ser invasiva, de rápido y sencillo cálculo[8].

En el escenario de urgencias en enero del 2021 Catoire et al. publican un estudio con el objetivo de evaluar el desempeño de la SaO2/FiO2 y predecir su relación con la PaO2/FiO2 en pacientes durante el brote de SARS-CoV-2 a través del análisis de las curvas ROC, concluyendo que la SaO2/FiO2 constituye una herramienta confiable para la tamización de hipoxemia en el Servicio de Urgencias en el contexto de la pandemia por SARS-CoV-2[9].

Entre sus ventajas se encuentran la rapidez y la sencillez para su cálculo, además que se puede realizar en escenarios de recursos limitados donde no se cuente con el equipo para análisis de gases arteriales.

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

Sencillo
Preciso
Confiable
Rentable
Fácilmente reproducible
Disponible al pie de la cama
Responda rápidamente a variacioneso en el valor real del parámetro fisiológico medido.
Pronóstico.
Facilite toma de decisiones clínicas.
El índice de oxigenación ideal no solo debe contar con características operativas adecuadas, sino que debe permitir tomar decisiones clínicas y adicionalmente se constituya en una herramienta pronóstica.

Figura 2 Características del índice de oxigenación ideal. El índice de oxigenación ideal no solo debe contar con características operativas adecuadas, sino que debe permitir tomar decisiones clínicas y adicionalmente se constituya en una herramienta pronóstica.

Sin embargo, a pesar de ser sencillo de calcular, se deben tener en cuenta sus limitaciones que, en general, son en general las que alteran la lectura de la pulsioximetría como son las alteraciones de la perfusión distal, la presencia de metahemoglobinemia, la localización del pulsioxímetro, la temperatura y el movimiento durante la medición, adicionalmente por sí sola no permite evaluar la repercusión sobre el estado ventilatorio ni las repercusiones sobre sobre el equilibro ácido base.

Índices basados en contenidos

Shunt fisiológico (Qs/Qt)

Dentro de esta categoría se encuentra el cálculo del shunt fisiológico, que es considerado por muchos autores como la forma ideal de medición de las variables pulmonares y extrapulmonares que condicionan la transferencia de oxígeno.

En términos netamente fisiológicos, el shunt constituye la proporción del gasto cardiaco (GC) que no se oxigena, teniendo en cuenta que existe un shunt anatómico (verdadero shunt) constituido por las venas de Tebesio y las arterias bronquiales, y el shunt patológico, que resulta de condiciones como las derivaciones derechas a izquierda, las atelectasias, obstrucciones bronquiales y síndromes de ocupación alveolar[1].

Su medición depende del contenidos arterial, venoso y capilar de oxígeno, cuyas variables tienen en cuenta la presión parcial de oxígeno a nivel arterial, venoso y capilar, respectivamente, este último medido a través de un catéter de arteria pulmonar, de la SaO2 a estos mismos niveles y la Hb, expresados en la fórmula de Berggren:

$$Qs/Qt = CcO2 - CaO2/CcO2\text{-}\ddot{C}vO2$$

donde: Qs/Qt: shunt fisiológico (%), CcO2: contenido capilar de oxígeno (ml/dl), CaO2: Contenido arterial de oxígeno (ml/dl), C̈vO2: contenido venoso mixto de oxígeno (ml/dl).

Este valor se expresa en porcentaje y en condiciones fisiológicas no debe constituir más del 10%[10]. Este índice compara el contenido de un capilar ideal (100%) contra el contenido arterial actual de oxígeno teniendo en cuenta lo que ingresa al capilar pulmonar.

Se debe tener en cuenta que existe un shunt anatómico dado por las venas de Tebesio, que constituyen el drenaje de la circulación coronaria que drenan directamente a las cavidades izquierdas y constituyen el 3% del GC y las venas bronquiales que constituyen menos de 1% del GC.

Adicionalmente, en condiciones patológicas este shunt aumenta como en el caso de las cardiopatías estructurales con cortocircuito derecha/izquierda y las diversas enfermedades pulmonares como los síndromes de ocupación alveolar, atelectasias o neoplasias.

Tradicionalmente se atribuye que al aumentar la FiO2 al 100% se puede eliminar el efecto de los diversos mecanismos de hipoxemia sobre la estimación de los trastornos de la oxigenación, evidenciando el verdadero valor del shunt[11]; sin embargo, en los diversos estudios de validación, se han encontrado resultados controversiales con relación a la

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

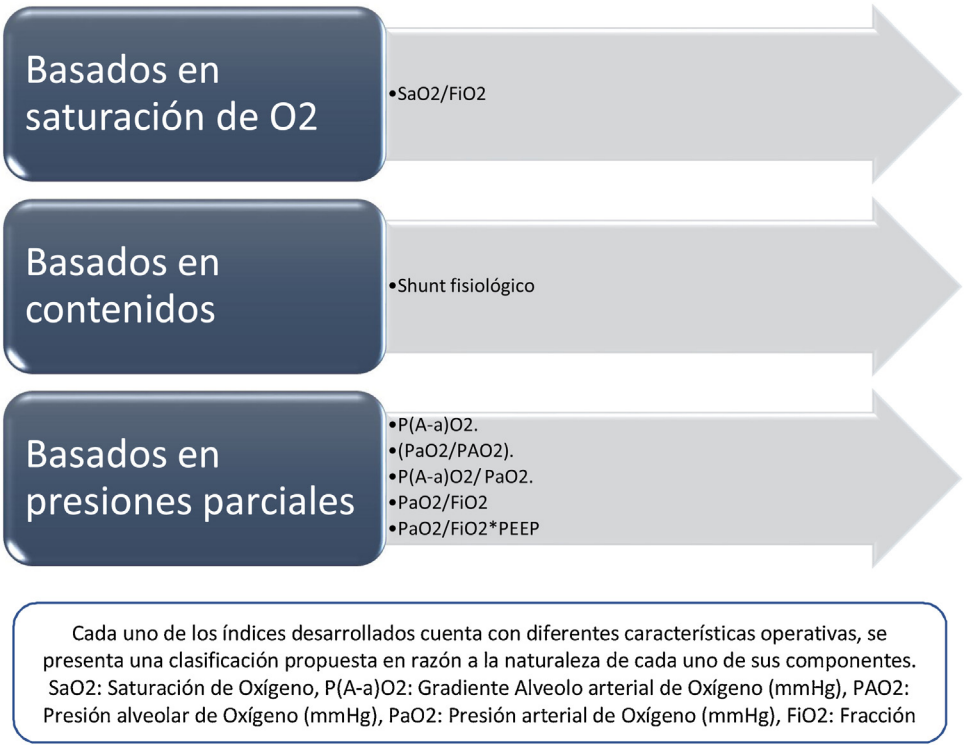

Basados en saturación de O2
•SaO2/FiO2
Basados en contenidos
•Shunt fisiológico
Basados en presiones parciales
•P(A-a)O2.
•(PaO2/PAO2).
•P(A-a)O2/ PaO2.
•PaO2/FiO2
•PaO2/FiO2*PEEP
Cada uno de los índices desarrollados cuenta con diferentes características operativas, se presenta una clasificación propuesta en razón a la naturaleza de cada uno de sus componentes. SaO2: Saturación de Oxígeno, P(A-a)O2: Gradiente Alveolo arterial de Oxígeno (mmHg), PAO2: Presión alveolar de Oxígeno (mmHg), PaO2: Presión arterial de Oxígeno (mmHg), FiO2: Fracción

Figura 3 Tipos de índices de oxigenación. Cada uno de los índices desarrollados cuenta con diferentes características operativas, se presenta una clasificación propuesta en razón a la naturaleza de cada uno de sus componentes.
FiO2: fracción inspirada de oxígeno (%); P(A-a)O2: gradiente alvéolo arterial de oxígeno (mmHg); PaCO2: presión arterial de CO2 (mmHg); PAO2: presión alveolar de oxígeno (mmHg); PaO2: presión arterial de oxígeno (mmHg); PEEP: presión positiva al final de la espiración; Qs/Qt: shunt fisiológico (%); SaO2: saturación de oxígeno.

FiO2, ya que algunos autores afirman que el shunt intrapulmonar puede aumentar al realizar esta estrategia[12], otros evidencian que no hay mayores cambios[13] y finalmente hay autores que indican en sus publicaciones que el shunt intrapulmonar se reduce con esta maniobra.

Estas variaciones podrían atribuirse a diversos mecanismos (errores en el cálculo del shunt, severidad de la enfermedad pulmonar y niveles de presión alveolar de oxígeno [PAO2] y efectos de la vasorreactividad).

Las limitaciones de este índice basado en contenido están principalmente en la necesidad de la correcta ubicación del catéter a través del cual se va a tomar la muestra de la mezcla venosa, ya que de ello depende una adecuada evaluación y, por ende, interpretación, además de ser más dispendiosa dada su naturaleza invasiva. Adicionalmente, el contenido venoso de oxígeno para una oxigenación arterial y venosa determinada va a depender del consumo y del GC, y por ello se debe tener precaución en los pacientes con sedación profunda o con miocardiopatía de base donde los valores de referencia están alterados basalmente.

Índices basados en presiones parciales

Las ventajas de esta categoría de índices incluyen que no requieren del uso de métodos invasivos para obtener dichas mediciones ya que emplean el uso de los parámetros obtenidos en los gases arteriales y venosos, son menos dispendiosas y su medición y se puede realizar a la cabecera del paciente; sin embargo, sus resultados están directamente afectados por los diferentes niveles de FiO2 administrados y adicionalmente operan bajo el supuesto que el nivel de contenido arterio-venoso de oxígeno C(a-v)O2 es constante y varía según el estado de la enfermedad; por ello existe la posibilidad que los resultados sean inexactos y su confiabilidad sea cuestionable.

En esta categoría se incluyen la tasa diferencial de presión de oxígeno alvéolo/arterial (P(A-a)O2, la tasa de presión de O2 arterial/alveolar (PaO2/PAO2), el índice respiratorio (P(A-a)O2/PaO2) y la más utilizada en la actualidad la relación entre PaO2/FiO2[14].

Tasa diferencial de presión de O2 alvéolo/arterial P(A-a)O2

Cronológicamente, es el primer índice propuesto para la evaluación del estado de oxigenación, descrito por Lilienthal et al. en 1946[15], y considerado como un indicador global de la transferencia de oxígeno, y dadas sus características traduce alteraciones en la difusión, la heterogeneidad V/Q y el shunt intrapulmonar[16].

Su valor está influido por la FiO2, el contenido arterial de O2 en la sangre venosa mixta y la afinidad de la Hb por el O2. En sujetos sanos la P(A-a)O2 tiende a aumentar a medida que aumenta la PAO2; sin embargo, en valores superiores a 150 mmHg esta se mantiene constante, incluso con mayores incrementos en la PAO2[17].

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

Se calcula a partir de parámetros fisiológicos como FiO2, PaO2, PACO2 y el índice respiratorio (R), además de variables como PB y presión de vapor de agua, condensadas en la siguiente fórmula:

P(A-a)O2 = PAO2- PaO2

donde: PAO2 = FiO2 × (Pb-PH2O) − (PaCO2/R)[18,19]

donde: P(A-a)O2: gradiente alvéolo arterial de oxígeno (mmHg); PAO2: presión alveolar de oxígeno (mmhg); PaO2: presión arterial de oxígeno (mmHg); FiO2: fracción inspirada de oxígeno (%); PB: presión barométrica (mmHg); PH2O: presión de vapor de agua (mmHg); PaCO2: presión arterial de CO2 (mmHg); R: coeficiente respiratorio (0,8).

Su valor normal en adultos jóvenes está alrededor de 10-15 mmHg (Lumb) y estos pueden cambiar con relación a la edad, existiendo formas de calcular los valores ideales de acuerdo con la fórmula D(A-a)O2 = 2,5 + (0,21 ×edad) ya que los valores normales de PaO2 se modifican con relación a la edad, siendo menores a medida que aumenta la edad a partir de los 20 años, mientras que la PAO2 no se modifica con la edad.

El gradiente A-a de O2 está ampliamente influido por el shunt intrapulmonar, especialmente cuando este se encuentra elevado; igualmente se encuentra influido por la FiO2[20], donde su valor se logra elevar hasta elevaciones de FiO2 del 70%; a partir de este nivel presenta una caída significativa[21].

Relación PaO2/PAO2

Descrito en 1965 por Gilbert y Keighley como un nomograma que correlaciona la PaO2 con la FiO2 administrada y la PaCO2 mediante la determinación de la PAO2[22].

Se correlaciona directamente con el shunt de forma lineal teniendo un nivel bajo de Qs/Qt, pero en la medida que este aumenta se presenta una relación curvilínea y tiene utilidad no solo en establecer una evaluación del estado de la oxigenación, sino además de orientar la suplementación de oxígeno requerida[23,24].

Se describió inicialmente con ventajas con relación a otros índices que se presenta como un índice más estable y con menores variaciones con relación a la FiO2, por ello se contempló inicialmente como un modelo predictor de la presión parcial de oxígeno arterial a cualquier valor de FiO2 basado en un nomograma que engloba la relación entre la PaO2, la PaCO2 y la FiO2[25,26]; sin embargo, estudios de validación han evidenciado hallazgos contradictorios relacionados con esta afirmación.

Granger et al. documentaron que la PaO2/PAO2 disminuye si la FiO2 está entre 0,21 y 0,40, y se mantiene estable si la FiO2 oscila entre 0,40 y 0,55; a partir de este punto presenta aumento de sus valores[27]. Gillbert et al., por el contrario, encontraron que la PaO2/PAO2 disminuye si la FiO2 aumenta en pacientes con shunt elevado a un V/Q constante y los valores aumentan de forma gradual a medida que aumenta la FiO2[28].

A pesar de evidenciar que también es un índice que se modifica con los niveles > FiO2, resulta que presenta una menor variabilidad, lo cual lo convierte en una alternativa útil y de fácil cálculo para seguimiento, en especial para pacientes con shunt aumentado[23] y en pacientes con estabilidad hemodinámica.

Índice respiratorio P(A-a)O2/PaO2

Se introdujo por primera vez en 1973 y está fundamentado en la relación directa que existe con el shunt intrapulmonar[29]; es impredecible ante cambios de la FiO2 y es poco confiable como una herramienta para evaluar la transferencia de oxígeno, y tiene en cuenta para su cálculo la diferencia de presión parcial de oxígeno alveolar y arterial, alveolar de oxígeno con relación a la presión parcial de oxígeno. Su evaluación revela cortocircuito pulmonar en diferentes situaciones patológicas que comprometen la transferencia de oxígeno, como con la presencia de atelectasias, contusiones pulmonares y tromboembolia pulmonar. Se considera un valor normal entre 0,1 y 0,37, y valores mayores que 6 estaban asociados a una sobrevida del 12%[30].

Al igual que sucede en otros índices, los estudios de validación tienen resultados controvertidos en cuanto a su relación con la influencia de la FiO2 con relación al shunt intrapulmonar[29,31], en donde con una FiO2 mayor al 60% se presenta una caída en los valores del índice respiratorio, de forma contraria a lo que sucede con los otros índices de oxigenación evaluados (P[A-a]O2, PaO2/PAO2, PaO2/FiO2), e igualmente con la saturación venosa mixta y con algunos tipos específicos de enfermedad, como sepsis (pulmonar y extrapulmonar), enfermedad hepática y enfermedad cardiaca[32].

PaO2/FiO2

Como definición operativa se contempla como la presión ejercida en la sangre por moléculas de oxígeno con relación a la FiO2, y dada su simplicidad y reproducibilidad es la que más ampliamente se utiliza para evaluar la capacidad del pulmón para oxigenar la sangre. Inicialmente descrita por Lecky y Ominsky en 1972[33], y presentada posteriormente por Kirby et al.[34] en 1975 inicialmente como una herramienta para liberación de la ventilación mecánica, se utilizaba en una escala de 1 a 5 de acuerdo con la presión parcial de oxígeno en Torr/FiO2[35]; posteriormente se cambió su evaluación utilizando la relación de la PaO2 con relación a la FiO2. Esto permitió más adelante su utilización de una forma más generalizada y gracias a ello se usó para clasificar la severidad del SDRA[36] de acuerdo con los criterios de Berlín[37]. A pesar del tiempo que se lleva utilizando, diversos estudios han evidenciado que, a pesar de ser una herramienta en general estable en pacientes con SDRA, también es un índice susceptible de variaciones, ya que está influida por múltiples variables fisiológicas y patológicas, propias de los pacientes (niveles de Hb, shunt) y propias de la programación del ventilador (FiO2, PEEP).

Con relación a los niveles de Hb, dada su relevancia en el shunt, su influencia sobre las presiones parciales se explica por el desplazamiento de la curva de disociación de la Hb, influyendo adicionalmente sobre el desajuste de ventilación/perfusión, y debido a la relación compleja entre la curva de disociación de la Hb, la diferencia arteriovenosa de oxígeno, la PaCO2, la relación PaO2/FiO2 no es constante ni lineal, como lo evidencian diversas publicaciones.

Múltiples publicaciones han establecido las variaciones de la PaO2/FO2 con relación al shunt, presentando mayor variabilidad cuando este es menor que el 30% y en shunt más

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

Tabla 1 Resumen Índices de oxigenación

Índice	Fórmula	Valor normal	Ventajas	Limitaciones
Relación saturación de oxígeno/FiO2	SatO2/FiO2	235 se correlaciona con PaO2/FiO2 200 315 se correlaciona con PaO2/FiO2 300	Validado en escenarios de comparación con PaO2/FiO2. Útil en escenarios de recursos limitados (no gases arteriales disponibles). Validada en escenarios de UCI y urgencias. Cálculo sencillo y rápido al pie de la cama	Metahemoglobinemia. Calibración pulsoximetría. Temperatura y movimiento durante la medición. No permite evaluar repercusiones del equilibrio ácido base
Shunt (Qs/Qt)	Qs/Qt = CcO2 − CaO2/CcO2-C̈vO2	< 10%	Permite eliminar el efecto de otros mecanismos de hipoxemia al aumentar FiO2 al 100%	Ubicación del extremo distal del catéter para toma de muestra de sangre venosa. Es de carácter Invasivo. Cálculo más dispendioso. Precaución en pacientes sedados o con cardiopatía de base por depender del consumo de oxígeno y del gasto cardiaco
Gradiente alvéolo arterial de O	P(A-a)O2 = PAO2-PaO2 donde: PAO2 = FiO2 × (PB-PH2O) − (PaCO2/R)	10-15 mmHg	No requiere métodos tan invasivos. Datos obtenidos de gases arteriales. Carácter menos invasivo. Se puede hacer ajuste a edad con fórmulas	Ampliamente influido por shunt intrapulmonar. Gran influencia de FiO2

elevados se podría evaluar la influencia del shunt verdadero al administrar FiO2 al 100%[12], considerando implementar esta estrategia y con PEEP 5 cmH2O para estandarizar el valor real de la PaO2/FiO2.

Con relación a la FiO2 se ha evidenciado que las mayores variaciones se dan principalmente por la cercanía a los extremos de 21 y el 100%, con una relación no lineal donde se tiende a sobrestimar[10], explicado por varios factores, especialmente el shunt intrapulmonar, diferencias arteriovenosas, PaCO2, coeficiente respiratorio y niveles de Hb. A diferentes valores de shunt y diferencia arteriovenosa constante, se presenta una variación considerable de la PaO2/FiO2, siendo en los extremos de la FiO2 mucho más alta la PaO2/FiO2, especialmente en rangos de shunt del 20%, mientras que en un valor de shunt más alto del 60% la PaO2/FiO2 aumenta con FiO2 más baja y disminuye con FiO2 en valor intermedio, sin cambios a partir de FiO2 de 70%. A valores constantes de shunt del 20% y diferencias arteriovenosas de O2 de diferentes valores se aprecia una reducción de la PaO2/FiO2 a mayor diferencia, probablemente por estar influida por el GC y consumo de oxígeno[10].

Ferguson et al. igualmente encuentran unas variaciones amplias en la relación PaO2/FiO2 de acuerdo con el shunt, en especial cuando este es superior al 20% y con FiO2 > 60%, por lo cual se puede incurrir en errores en su interpretación[38]. Otros autores más recientemente han confirmado igualmente la influencia del shunt sobre la PaO2/FiO2, la cual es menor a mayores niveles de shunt y manteniendo una relación no lineal y siendo adicionalmente influido por al GC de una forma directa y por la FiO2 de una forma bimodal, sobrestimándola en la FiO2 menor del 30% y mayor del 70%. Esta variación con relación a la FiO2 se evidencia a valores de shunt menores del 30%; por encima de este valor presenta una infraestimación no lineal con FiO2 ascendentes hasta el 70%, donde tiende a no modificarse más[39].

Dentro de las limitaciones del uso de la PaO2/FiO2 como herramienta para la evaluación del estado de oxigenación es que igualmente a los índices basados en presiones se ve marcadamente influido por factores como el GC, el shunt, la Hb, la PaCO2, el coeficiente respiratorio y la FiO2; adicionalmente, se debe tener en cuenta el valor de la PB para realizar una adecuada interpretación y por ello se propone realizar una corrección con relación a esta PB cuando el sitio de la toma de la muestra de gases arteriales está por encima de los 1.000 m sobre el nivel del mar con la fórmula PaO2/FiO2 ajustada = PaO2/FiO2 × (PB/760)[40].

Adicionalmente, con el fin de estandarizar su uso y hacerlo más confiable, además de la corrección a PB, se debería realizar la medición con FiO2 al 100% para evaluar el verdadero valor del shunt y descartar los otros factores influyentes.

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

Tabla 1 (*continuación*)

Índice	Fórmula	Valor normal	Ventajas	Limitaciones
Relación PaO2/PAO2	PaO2/PAO2 o 1 − (PAO2-PaO2/PAO2)	0,74-0,82	Correlación directa con shunt. Orienta la suplementación de oxígeno. Menor variabilidad con la FiO2 vs. otros índices	Estudios de validación con resultados contradictorios
Índice respiratorio P(A-a)O2/PaO2	P(A-a)O2/PaO2	0,1-0,37	Correlación directa con el shunt	Estudios de validación con resultados contradictorios. Gran variabilidad de acuerdo con la FiO2. Influenciada por enfermedad cardiaca y hepática
PaO2/FiO2	PaO2/FiO2	> 300 normal 200-299 trastorno leve de la oxigenación 100-199 trastorno moderado de la oxigenación < 100 trastorno severo de la oxigenación	Universalmente utilizada. Validad en grandes cohortes. Menos invasiva. Parámetro utilizado para clasificación de SDRA. Prueba del tiempo. Fácil cálculo	Grandes variaciones con FiO2 cercana a extremos. Influenciada por gasto cardiaco y consumo de oxígeno. Variaciones importantes si shunt > 20%. Requiere ajuste a PB si altitud > 1.000 m SNM
PaO2/FiO2 × PEEP	PaO2/FiO2 × PEEP	> 60 normal 40-59 trastorno leve de la oxigenación 20-39 trastorno moderado de la oxigenación < 20 trastorno severo de la oxigenación	Naturaleza poco invasiva. Fácil cálculo. Tiene en cuenta influencia de PEEP. Predictivo de desenlaces negativos	Derivado de estudio retrospectivo. Requiere validación en cohorte prospectiva

C̈vO2: contenido venoso mixto de oxígeno (ml/dl); CaO2: contenido arterial de oxígeno (ml/dl); CcO2: contenido capilar de oxígeno (ml/dl); FiO2: fracción inspirada de oxígeno (%); P(A-a)O2: gradiente alvéolo arterial de oxígeno (mmHg); PaCO2: presión arterial de CO2 (mmHg); PAO2: presión alveolar de oxígeno (mmHg); PaO2: presión arterial de oxígeno (mmHg); PB: presión barométrica (mmHg); PH2O: presión de vapor de agua (mmHg); Qs/Qt: shunt fisiológico (%); R: coeficiente respiratorio (0,8). Resumen de los diferentes índices de oxigenación, la fórmula explicativa, sus ventajas y desventajas, además como las limitaciones. Desarrollada por los autores.

PaO2/FiO2 × PEEP

Debido a que la PaO2/FiO2 es una herramienta que se ve influida por algunas variables, ha surgido la necesidad de buscar nuevas herramientas igualmente sencillas pero de mayor fiabilidad para evaluar los trastornos de la oxigenación, y tratando de emular la estandarización propuesta hacia los años 70 con relación a la PEEP. Basado en ello recientemente Sayed et al. publicaron un estudio retrospectivo, multicéntrico, basando su análisis en un lenguaje de programación de inteligencia artificial, en donde utilizan PaO2/FiO2 ajustado a nivel de PEEP en pacientes con SDRA y tratando de establecer 3 puntos de corte para «reclasificar» el SDRA y con ello implementar un modelo predictivo a través de la evaluación del desempeño y la correlación en 2 escenarios de bases de datos. Los 3 puntos de corte de 60, 40 y 20 clasifican el SDRA en rangos de leve, moderado y severo, respectivamente, encontrando una precisión predictiva buena con una correlación alta en comparación con PaO2/FiO2 en términos de AUC y COR, con mejoría del 15 y el 37,6%, respectivamente, y del 14,8 y el 2%, respectivamente, en cada una de las bases de datos[41]. Si bien el estudio fue retrospectivo y en escenarios a corto plazo, sus resultados abren el panorama para implementar en estudios prospectivos su utilización y que ello permita hacer mediciones e interpretaciones más acordes con las variaciones clínicas.

Para concluir, a través del tiempo se han descrito múltiples herramientas para evaluar el estado de oxigenación, cada uno con ventajas y limitaciones (tabla 1), con características que obligan a clínico a hacer una cuidadosa elección de la herramienta más acorde con los medios y las características de cada individuo, y no solo con relación a la enfermedad aguda, sino teniendo en cuenta las condiciones de base que, como hemos visto a través de la revisión, son influyen frecuentemente en los valores de algunos índices. Por ahora, la determinación del shunt y la PaO2/FiO2 son las herramientas que tienen un comportamiento menos variable con relación a los factores fisiológicos y patológicos que influyen; sin embargo, debemos continuar en

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

la búsqueda del índice de oxigenación ideal, que cumpla con las características propuestas para tal fin: que sea confiable, que sus variaciones sean independientes de variables fisiológicas (FiO2, el shunt, PaCO2, GC), que refleje el grado real de severidad de la enfermedad y el cambio del estado clínico con una sensibilidad aceptable, que permita predecir desenlaces, que sea sencillo de calcular, barato, mínimamente o no invasivo, fácil de interpretar, económico y reproducible en todas las poblaciones, y para ello la utilización de la PaO2/FiO2 × PEEP surge como una herramienta prometedora; sin embargo, hacen falta estudios prospectivos que permitan validarla y considerar un valor intermedio (SDRA moderado/severo vs. leve/moderado) que permita definir intervenciones de una forma más temprana y dando menos chance a áreas grises en el diagnóstico en el contexto de SDRA.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Gold WM, Koth LL. 25-Pulmonary function testing. En: Broaddus VC, Mason RJ, Ernst JD, King TE, Lazarus SC, Murray JF, et al., editores. Murray and Nadel's textbook of respiratory medicine. 6th ed. Philadelphia: W.B. Saunders;; 2016. p. 407–35, e18.
2. Gould MK, Ruoss SJ, Rizk NW, Doyle RL, Raffin TA. Indices of hypoxemia in patients with acute respiratory distress syndrome: Reliability, validity, and clinical usefulness. Crit Care Med. 1997;25:6–8.
3. Ismaeil TT, Othman FM. Evaluation of oxygen status in critical care settings: A review article. Egypt J Crit Care Med. 2020;7:63–7.
4. Brown SM, Grissom CK, Moss M, Rice TW, Schoenfeld D, Hou PC, et al. Nonlinearl imputation of PaO2/FiO2 from SpO2/FiO2 among patients with acute respiratory distress syndrome. Chest. 2016;150:307–13.
5. Rice TW, Wheeler AP, Bernard GR, Hayden DL, Schoenfeld DA, Ware LB. Comparison of the SpO2/FIO2 ratio and the PaO2/FIO2 ratio in patients with acute lung injury or ARDS. Chest. 2007;132:410–7.
6. Pandharipande PP, Shintani AK, Hagerman HE, St Jacques PJ, Rice TW, Sanders NW, et al. Derivation and validation of Spo2/Fio2 ratio to impute for Pao2/Fio2 ratio in the respiratory component of the Sequential Organ Failure Assessment score. Crit Care Med. 2009;37:1317–21.
7. Bashar FR, Vahedian-Azimi A, Farzanegan B, Goharani R, Shojaei S, Hatamian S, et al. Comparison of non-invasive to invasive oxygenation ratios for diagnosing acute respiratory distress syndrome following coronary artery bypass graft surgery: A prospective derivation-validation cohort study. J Cardiothorac Surg. 2018;13:123.
8. Fukuda Y, Tanaka A, Homma T, Kaneko K, Uno T, Fujiwara A, et al. Utility of SpO2/FiO2 ratio for acute hypoxemic respiratory failure with bilateral opacities in the ICU. PLoS One. 2021;16:e0245927.
9. Catoire P, Tellier E, de la Rivière C, Beauvieux M-C, Valdenaire G, Galinski M, et al. Assessment of the SpO(2)/FiO(2) ratio as a tool for hypoxemia screening in the emergency department. Am J Emerg Med. 2021;44:116–20.
10. Aboab J, Louis B, Jonson B, Brochard L. Relation between PaO2/FIO2 ratio and FIO2: A mathematical description. Intensive Care Med. 2006;32:1494–7.
11. Wandrup JH. Quantifying pulmonary oxygen transfer deficits in critically ill patients. Acta Anaesthesiol Scand Suppl. 1995;107:37–44.
12. Shapiro BA, Cane RD, Harrison RA, Steiner MC. Changes in intrapulmonary shunting with administration of 100 percent oxygen. Chest. 1980;77:138–41.
13. Santos C, Ferrer M, Roca J, Torres A, Hernández C, Rodriguez-Roisin R. Pulmonary gas exchange response to oxygen breathing in acute lung injury. Am J Respir Crit Care Med. 2000;161:26–31.
14. Gowda MS, Klocke RA. Variability of indices of hypoxemia in adult respiratory distress syndrome. Crit Care Med. 1997;25:41–5.
15. Lilienthal JL Jr, Riley RL, Proemmel DD, Franke RE. An experimental analysis in man of the oxygen pressure gradient from alveolar air to arterial blood during rest and exercise at sea level and at altitude. Am J Physiol. 1946;147:199–216.
16. Sylvester JT, Cymerman A, Gurtner G, Hottenstein O, Cote M, Wolfe D. Components of alveolar-arterial O2 gradient during rest and exercise at sea level and high altitude. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol. 1981;50:1129–39.
17. Shapiro BA, Peruzzi WT, Kozelowski-Templin R. Clinical application of blood gases. St. Louis: Mosby-Year Book; 1994.
18. Sharma S, Hashmi MF, Burns B. Alveolar gas equation. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright; 2021.
19. Hantzidiamantis PJ, Amaro E. Physiology, Alveolar to arterial oxygen gradient. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright; 2021.
20. Harris DE, Massie M. Role of Alveolar-arterial gradient in partial pressure of oxygen and PaO(2)/fraction of inspired oxygen ratio measurements in assessment of pulmonary dysfunction. AANA J. 2019;87:214–21.
21. Van de Water JM, Kagey KS, Miller IT, Parker DA, O'Connor NE, Sheh JM, et al. Response of the lung to six to 12 hours of 100 per cent oxygen inhalation in normal man. N Engl J Med. 1970;283:621–6.
22. Gilbert R, Keighley JF. The arterial-alveolar oxygen tension ratio. An index of gas exchange applicable to varying inspired oxygen concentrations. Am Rev Respir Dis. 1974;109:142–5.
23. Peris LV, Boix JH, Salom JV, Valentin V, Garcia D, Arnau A. Clinical use of the arterial/alveolar oxygen tension ratio. Crit Care Med. 1983;11:888–91.
24. Viale JP, Percival CJ, Annat G, Rousselet B, Motin J. Arterial-alveolar oxygen partial pressure ratio: A theoretical reappraisal. Crit Care Med. 1986;14:153–4.
25. Gross R, Israel RH. A graphic approach for prediction of arterial oxygen tension at different concentrations of inspired oxygen. Chest. 1981;79:311–5.
26. Doyle D. Arterial/alveolar oxygen tension ratio: A critical appraisal. Can Anaesth Soc J. 1986;33:471–4.
27. Granger WM, Miller DA, Ehrhart IC, Hofman WF. The effect of blood flow and diffusion impairment on pulmonary gas exchange: A computer model. Comput Biomed Res. 1987;20:497–506.
28. Gilbert R, Auchincloss JH Jr, Kuppinger M, Thomas MV. Stability of the arterial/alveolar oxygen partial pressure ratio. Effects of low ventilation/perfusion regions. Crit Care Med. 1979;7:267–72.
29. Covelli HD, Nessan VJ, Tuttle WK 3rd. Oxygen derived variables in acute respiratory failure. Crit Care Med. 1983;11:646–9.
30. Goldfarb MA, Ciurej TF, McAslan TC, Sacco WJ, Weinstein MA, Cowley RA. Tracking respiratory therapy in the trauma patient. Am J Surg. 1975;129:255–8.
31. Herrick IA, Champion LK, Froese AB. A clinical comparison of indices of pulmonary gas exchange with changes in the inspired oxygen concentration. Can J Anaesth. 1990;37:69–76.
32. Sganga G, Siegel JH, Coleman B, Giovannini I, Boldrini G, Pittiruti M. The physiologic meaning of the respiratory index in various types of critical illness. Circ Shock. 1985;17:179–93.

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

33. Lecky JH, Ominsky AJ. Postoperative respiratory management. Chest. 1972;62 Suppl, 50S-7S.
34. Kirby RR, Downs JB, Civetta JM, Modell JH, Dannemiller FJ, Klein EF, et al. High level positive end expiratory pressure (PEEP) in acute respiratory insufficiency. Chest. 1975;67:156–63.
35. Horovitz JH, Carrico CJ, Shires GT. Pulmonary response to major injury. Arch Surg. 1974;108:349–55.
36. Artigas A, Bernard GR, Carlet J, Dreyfuss D, Gattinoni L, Hudson L, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS, part 2: Ventilatory, pharmacologic, supportive therapy, study design strategies, and issues related to recovery and remodeling. Acute respiratory distress syndrome. Am J Respir Crit Care Med. 1998;157 4 Pt 1:1332–47.
37. The ADTF. Acute respiratory distress syndrome: The Berlin definition. JAMA. 2012;307:2526–33.
38. Ferguson ND, Kacmarek RM, Chiche JD, Singh JM, Hallett DC, Mehta S, et al. Screening of ARDS patients using standardized ventilator settings: Influence on enrollment in a clinical trial. Intensive Care Med. 2004;30:1111–6.
39. Gattinoni L, Vassalli F, Romitti F. Benefits and risks of the P/F approach. Intensive Care Med. 2018;44:2245–7.
40. Brower RG, Lanken PN, MacIntyre N, Matthay MA, Morris A, Ancukiewicz M, et al. Higher versus lower positive end-expiratory pressures in patients with the acute respiratory distress síndrome. N Engl J Med. 2004;351:327–36.
41. Sayed M, Riaño D, Villar J. Novel criteria to classify ARDS severity using a machine learning approach. Crit Care. 2021;25:150.

Descargado para Anonymous User (n/a) en University of Rosario de ClinicalKey.es por Elsevier en septiembre 09, 2024. Para uso personal exclusivamente. No se permiten otros usos sin autorización. Copyright ©2024. Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.